

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID.
ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR.
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.



RESUMEN PROYECTO FIN DE CARRERA
INGENIERIA INDUSTRIAL

SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO PARA AIRE
ACONDICIONADO MEDIANTE EL USO DE
RUEDAS ENTALPICAS DESECCANTES

AUTOR: Joan Anglès Jiménez.

TUTOR WROCLAW UNIVERSITY: Dr. Dariusz Kwiecień.

TUTOR UC3M: Hortensia Amarís Duarte.

Leganés, 15 de julio de 2010

INDICE:

1.	Objetivos del proyecto.....	3
2.	Estructura del proyecto.....	4
3.	Formas de conversión de la energía solar en refrigeración	11
4.	Enfriadores impulsados térmicamente	13
5.	Solar Evaporative Desiccant Cooling.....	15

1. Objetivos del proyecto

El objetivo de este proyecto es la de la investigación y recopilación de toda la información vinculante a los sistemas de aire acondicionado usando la tecnología solar como fuente de energía primaria y mediante el uso de ruedas entálpicas desecantes cuya misión principal es la deshumidificación del aire que posteriormente se introducirá en un intercambiador de calor para ser finalmente suministrado como aire acondicionado.

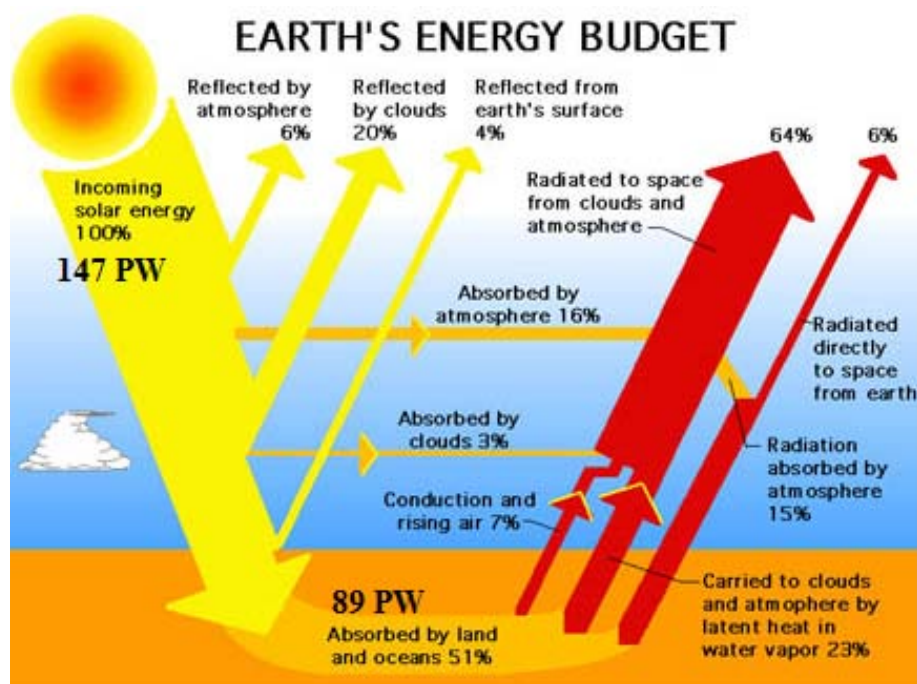
Así pues se trata de la evaluación y el estudio de los diferentes parámetros que afectan a este tipo de instalaciones así como de las diferentes configuraciones que en la actualidad se están utilizando y tal y como se verá posteriormente la gran mayoría esta instaladas en Alemania y España.

La instalación de la cual nos hemos basado para realizar este proyecto consta básicamente de dos partes principales, la primera se usa para capturar la energía solar que proviene del sol y esta energía se utiliza para calentar el aire esto se realiza mediante paneles solares que calientan el aire. Este aire es conducido a través de tuberías desde el tejado del edificio hasta que el sistema de aire acondicionado. Esta es la segunda parte de la instalación y está tomando aire del exterior el cual es conducido a través de tuberías hasta un filtro el cual quita cualquier tipo de partícula que pueda contener dicho aire. El siguiente paso, está en el rotor desecante el cual usa el aire proveniente de la parte solar es decir el aire caliente se mezcla en este rotor para secar el aire. Más adelante veremos el proceso completo pero podemos decir que la energía que se toma del sol se utiliza para calentar el aire y esta energía en forma de calor se utiliza para secar el aire.

Después de esta breve introducción acerca de cómo está funcionando el sistema que tenemos que evaluar, podemos decir que este proyecto consiste en evaluar la instalación y calcular la eficiencia energética, por lo que en primer lugar, podemos

2. Estructura del proyecto

El proyecto comienza con una serie de información teórica acerca de la energía solar en la que se comentan los diferentes niveles de radiación solar proveniente del sol y como esta se va perdiendo durante su largo recorrido hasta que se logra utilizar es decir que se especifica mediante un esquema los niveles de radiación solar entrante. En dicha figura se muestra lo explicado:

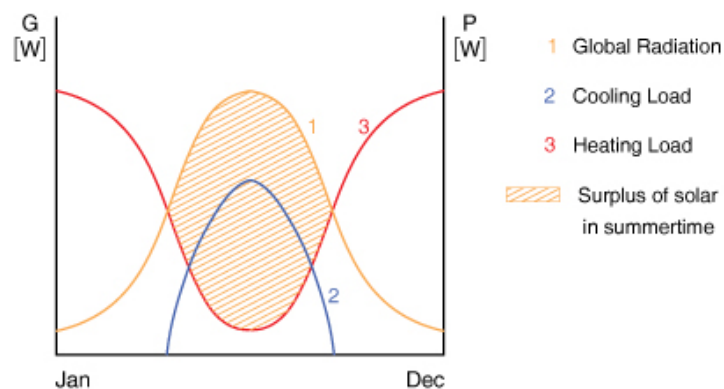


Posteriormente se explican las diferentes ventajas que tiene el uso de la energía solar y porque se tiene tanta importancia el uso de dicha energía, así como los diferentes parámetros solares que influyen en el potencial de dicha energía y que tienen que ser considerados a la hora de evaluar el rendimiento y la rentabilidad de una instalación y en este caso existen en nuestra instalación una serie de parámetros como son las horas de radiación solar así como sus niveles y en este caso influye mucho la temperatura ambiente del aire pues es un factor muy determinante a la hora de elegir una de las posibles combinaciones para nuestro sistema de refrigeración mediante el uso de ruedas desecantes.

A continuación se pueden ver algunas de las ventajas así como un grafico que reafirma lo aquí expuesto. En resumen podemos decir que los beneficios de la utilización del sol para suministrar estos sistemas son:

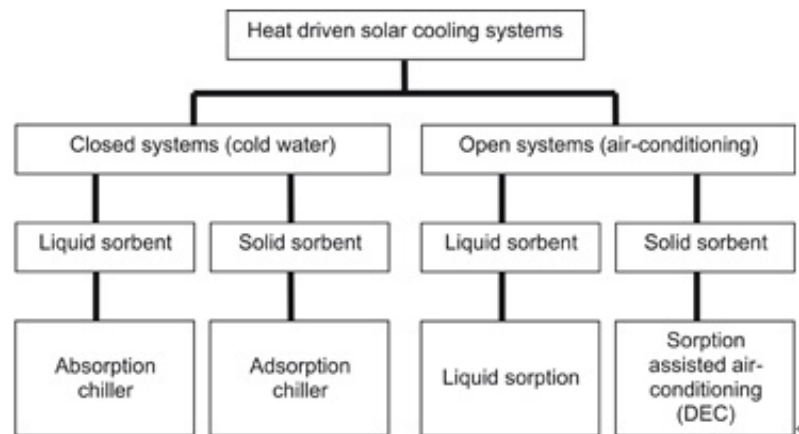
1. Habilita el uso de los excedentes de calor solar durante el verano.
2. No hay sobrecalentamiento del sistema solar durante el verano.
3. La simultaneidad de la oferta y la demanda de calor solar de refrigeración.
4. Mínimos costes de explotación para la refrigeración, calefacción y agua caliente sanitaria.
5. El uso de calor solar como fuente de energía renovable.
6. La independencia de los combustibles fósiles

En dicho grafico se pueden ver los diferentes valores de radiación global que entra y las cargas de enfriamiento y calentamiento que existen en las diferentes épocas del año:

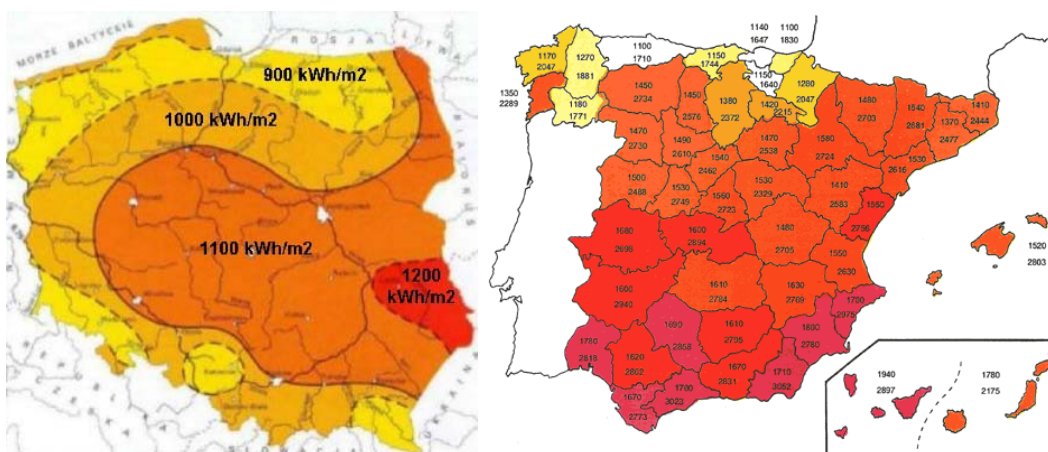


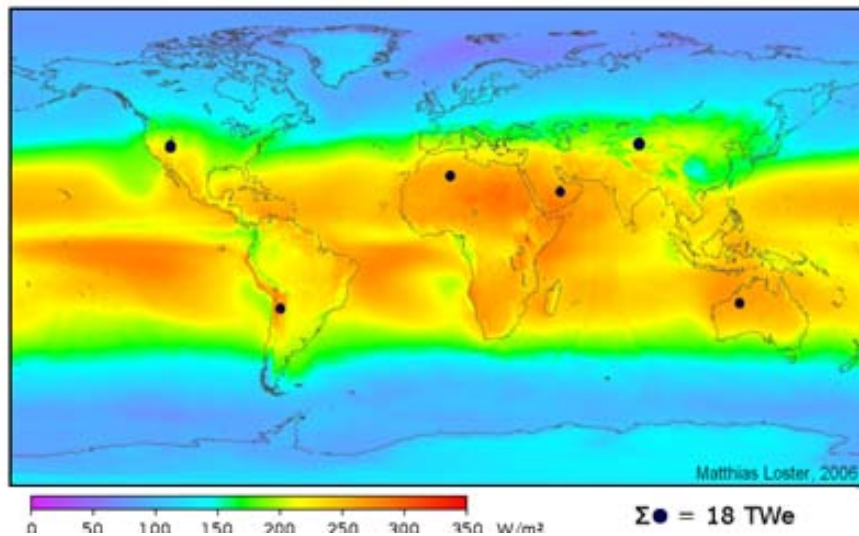
Por último en esta parte se habla brevemente de los diferentes métodos de almacenamiento de energía así como de los diferentes paneles solares y materiales usados en dichas instalaciones.

En una tercera parte del proyecto se explican una clasificación muy elemental sobre los diferentes sistemas de aire acondicionado solar accionados por sistemas de calor en la siguiente figura se puede ver dicha clasificación:



Como se podrá ver más adelante después de esto pasaremos a describir un poco las diferencias y las características más significativas del los climas en Polonia y España. En esta parte podremos ver diferentes mapas de los dos países con índices de irradiación, horas de sol, lluvia, viento ya que son parámetros muy importantes a la hora de evaluar la humedad del aire pues el buen funcionamiento del aire acondicionado depende de los niveles de humedad. A modo de ejemplo se muestran dos mapas así como el mapa mundial de los niveles de irradiación en todo el mundo Polonia y España:





Las diferentes aplicaciones de estos sistemas son variadas, a continuación se muestra una tabla donde aparecen todos los diferentes campos de aplicación que tienen estos sistemas en la actualidad:

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| ➤ Instituciones públicas. | ➤ Hoteles |
| ➤ Hospitales. | ➤ Industria farmacéutica. |
| ➤ Edificios públicos. | ➤ Industria de impresión. |
| ➤ Bancos. | ➤ Medios de comunicación. |

A continuación se muestran algunos ejemplos de instalaciones de las arriba comentadas que existen en la actualidad:

✓ **Air-conditioning of a factory:**

- **Use:** air conditioning of the production facilities in a cosmetics factory
- **Site:** Inofita Viotias (appr. 50 km north-east of Athens)
- **Solar thermal collector field:** 2700 m² flat plate collectors
- **Chillers:** 2 adsorptions chillers with 350 kW each. 3 compression chillers with 350 kW each.

✓ **Wine store cool:**

- *Use:* cooling of a wine store
- *Site:* Banyuls (south France)
- *Solar thermal collector field:* 130 m² evacuated tube collectors
- *Chiller:* absorption chiller with 52 kW cooling capacity.

✓ **Air-conditioning of a seminar room:**

- *Use:* air-conditioning of the seminar room and the cafeteria in an office building.
- *Site:* Freiburg (south-west Germany)
- *Solar thermal collector field:* 100 m² of air collectors as the only heat source
- *Cooling system:* desiccant cooling system (10.200 m³/ hour) with silica gel rotor
- *Specifics:* simple solar system, simple integration into the air-conditioning.

✓ **Hotel air-conditioning:**

- *Use:* air-conditioning of a hotel and steam supply for the hotel laundry
- *Site:* Dalaman (Mediterranean coast Turkey)
- *Solar thermal collector field:* 180 m² parabolic trough collectors.
- *Chiller:* double effect absorption chiller (cooling capacity 116 kW).

Por último en esta parte principal que puede ser considerada como un bloque introductorio al tema principal del proyecto y al cual profundizaremos más tarde, se puede ver para acabar con esta parte las diferentes formas de operación y características más importantes de estos sistemas en función de si son de aplicación industrial o domestica.

Industria: Hay un gran mercado y de crecimiento lento para la refrigeración industrial, en particular para los alimentos o medicamentos. *Características:*

- Unidades de refrigeración que suministran temperaturas en el rango de -30°C a 20°C . La mayoría de las unidades está en el rango de 100 kW a varios MW. Los sistemas convencionales son operados por grandes accionamientos eléctricos con maquinas de refrigeración por compresor de vapor. Por lo general, las grandes torres de refrigeración se emplean para disipar el calor del condensador.
- Varias instalaciones industriales utilizar el calor sobrante proceso para operar equipos de enfriamiento térmico impulsado, que es competitiva con la tecnología de compresión de vapor en zonas con un suministro eléctrico inestable. Sistemas de refrigeración térmica impulsada aplicada a la refrigeración industrial utiliza siempre ciclos termodinámicos cerrados, que producen el aire frío, que es transferida por un medio líquido de transmisión de calor.

Edificios: La demanda de refrigeración de edificios está aumentando en todo el mundo, especialmente en el sur de Europa, tanto en el sector residencial y terciario. Alrededor de 250 sistemas solares de aire acondicionado se instalaron en Europa en 2007, con un aumento exponencial de la actividad en los últimos dos años. Los colectores solares para la climatización de los edificios son en general también se utiliza para otras aplicaciones, tales como calefacción y producción de agua caliente.

Este ahorro de energía y por lo tanto aumenta la productividad de la inversión. Los sistemas en el intervalo de funcionamiento de las pequeñas unidades de viviendas unifamiliares a las unidades grandes para el aire acondicionado de los edificios de la fábrica. En los edificios comerciales más grandes, a menudo son explotados por redes de refrigeración grandes enfriadores de agua centralizados.

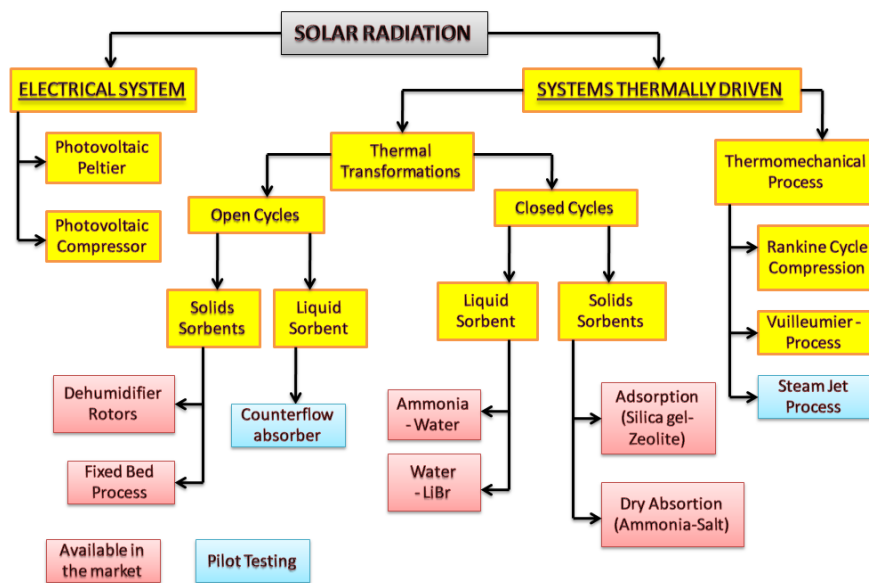
Aunque los principios básicos siguen siendo los mismos, hay algunas diferencias en las tecnologías utilizadas para el aire acondicionado en los edificios y de refrigeración industrial:

- El aire acondicionado de los edificios en verano puede incluir tanto la refrigeración y, dependiendo de la humedad exterior e interior cargas latentes, la des humidificación. Por lo tanto, ambas máquinas termodinámicas y los llamados ciclos abiertos (también llamados sistemas de refrigeración desecante) se pueden aplicar. En los ciclos abiertos, el aire que pasa por una unidad de tratamiento de aire térmico del motor está a la temperatura correcta y con el nivel de humedad correctos.
- En función de los sistemas de cubierta, la temperatura del aire de salida por lo general debe oscilar entre 6 ° C a 16 ° C.

Ahora después de esta breve introducción podemos pasar al punto número de 3 del proyecto donde realmente se empieza a hablar del tópico del proyecto. Empezaremos por una clasificación general de las formas de conversión de la energía solar en refrigeración.

3. Formas de conversión de la energía solar en refrigeración

Hay muchas formas físicas de la conversión de energía de la radiación solar en refrigeración. Los procesos marcados en rojo: las tecnologías disponibles en el mercado que se utilizan para la energía solar asistida por aire acondicionado. Procesos marcados en azul: las tecnologías están en fase piloto o prueba. En la imagen que tenemos abajo, podemos ver el esquema relativo a los diferentes procesos térmicos y transformaciones.







Las tecnologías más comunes utilizadas en combinación con el calor del sol se muestran en la tabla siguiente. Así, los sistemas solares para aire acondicionado se pueden clasificar en:

- **Sistemas abiertos:** En el que el efecto de enfriamiento se obtiene como resultado de cambios en la absorción (proceso químico) o adsorción (proceso físico) sistemas. Permite que el aire acondicionado sea mediante el suministro de aire frío y deshumidificado de acuerdo con las condiciones de confort. El "refrigerante" es siempre el agua. La mayoría de los sistemas comunes son los sistemas de refrigeración desecante con una rueda desecante.

- **Los sistemas cerrados:** Cuando el efecto de refrigeración se obtiene como resultado de los cambios (humedad de un dispositivo con un líquido o sólido absorbente). Estos son movidos térmicamente por enfriadores de agua helada, es decir utilizan en las unidades de tratamiento de aire para suministrar aire acondicionado (refrigeración, des humidificación) o que se distribuye a través de una red de agua fría a las salas designadas para operar las instalaciones descentralizadas, por ejemplo fan coils.

Como ejemplo podemos ver en la figura siguiente las tecnologías solares más comunes para la generación de aire acondicionado. Las tecnologías se clasifican dependiendo del tipo de ciclo es decir ciclo cerrado y abierto:

Method	Closed cycle		Open cycle	
Refrigerant cycle	Closed refrigerant cycle		Refrigerant (water) is in contact with the atmosphere	
Principle	Chilled water		Dehumidification of air and evaporative cooling	
Phase of sorbent	Solid	Liquid	Solid	Liquid
				
Typical material pairs	water - silica gel	water - lithium bromide ammonia - water	water - silica gel, water - lithium chloride	water - calcium chloride, water - lithium chloride
Market available	Adsorption chiller	Absorption chiller	Desiccant cooling	Close to market introduction
Typical cooling capacity (kW cold)	50 – 430 kW	15 kW – 5 MW	20 kW – 350 kW per module	
Typical COP	0,5 – 0,7	0,6 – 0,75 (Single effect)	0,5 – >1	> 1
Driving temperature	60 – 90 °C	80 – 110 °C	45 – 95 °C	45 – 70 °C
Solar collectors	Vacuum tubes, flat plate collectors	Vacuum tubes	Flat plate collectors, solar air collectors	Flat plate collectors, solar air collectors

Las ventajas de enfriadores de absorción de ciclo abierto sobre los sistemas de ciclo cerrado son las siguientes:

1. El número de componentes principales se reduce en uno mediante la transferencia de la condensación del refrigerante de un condensador para el medio ambiente.
2. Unidades selladas de presión que evitan que todo el sistema puede ser operado a presión atmosférica.

3. La utilización eficiente de temperaturas bajas de la fuente de calor. El refrigerador de ciclo abierto puede funcionar con cualquier fuente de calor en la que la temperatura es sólo ligeramente superior a la temperatura de disipación de calor.

Como pudimos ver en la foto anterior, hay 4 tipos de tecnologías que se utilizan para los colectores solares térmicos para climatización de edificios, entre ellos se pueden distinguir dos tipos principales:

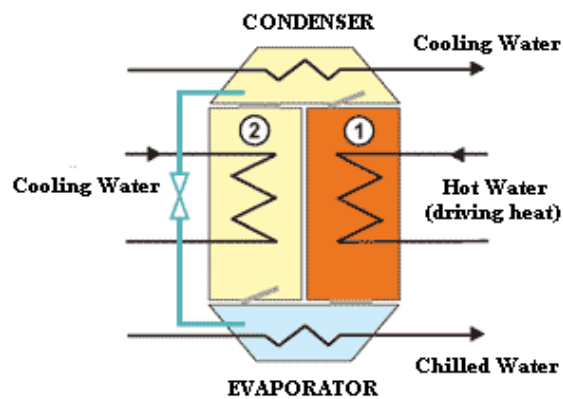
- Enfriadores impulsados térmicamente (ciclos cerrados).
- Ruedas desecantes (ciclos abiertos).

A continuación vamos a hablar sobre estos dos sistemas que son los mas empleados y los más importantes.

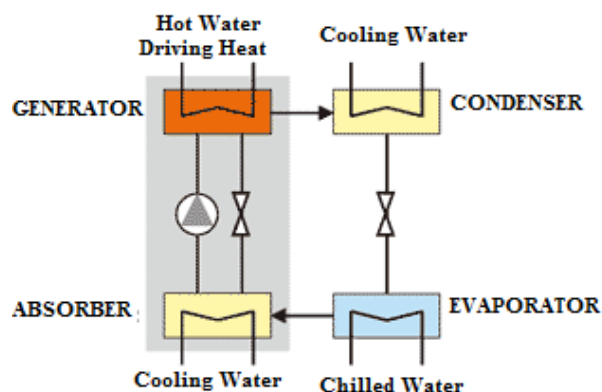
4. Enfriadores impulsados térmicamente

La tecnología de enfriadores movidos térmicamente se basa en la absorción y adsorción. El proceso físico básico se compone de al menos dos componentes químicos, una de ellas actúa como refrigerante y la otra como absorbente. Los enfriadores de absorción están disponibles en el mercado en una amplia gama de capacidades y diseñados para diferentes aplicaciones. Sin embargo, sólo muy pocos sistemas están disponibles en un rango por debajo de 100 kW de capacidad de refrigeración.

- ✓ En los *enfriadores de absorción* el refrigerante (agua o amoníaco) es absorbido por un líquido absorbente bromuro de litio (o agua). En el generador de forma directa o indirecta de energía solar, con temperaturas altas de calefacción. Esto genera una alta presión de vapor de refrigerante, que es suficiente para condensar el refrigerante en el condensador. Después de la evaporación, el vapor de refrigerante es absorbido en la solución que se enfría en el absorbedor. Las temperaturas de la calefacción de desorción son entre 80 ° C y 160 ° C según la tecnología.



- ✓ En *refrigeradores de adsorción* del agua refrigerante es absorbido en un sólido de gel de sílice como adsorbente entre la eliminación del calor latente en la superficie. El calor latente disminuye a cero con la adición creciente de moléculas de agua, entonces el calor de evaporación sólo tiene que ser disipada. La desorción del agua almacenada y la generación de presión para la condensación ya está causado por las temperaturas de calefacción a baja de 60 ° C a 70 ° C.



5. Solar Evaporative Desiccant Cooling

SDEC estas son las siglas en ingles conocidas en ingles, este es en concreto el sistema del cual profundizaremos mas ya que este es el propósito principal del proyecto el estudio de sistemas de refrigeración solar mediante el uso de ruedas desecantes.

Estos sistemas normalmente emplean una combinación de des humidificación del aire y refrigeración por evaporación, que se utiliza en sistemas de ventilación para el tratamiento de aire. En sistemas de enfriamiento evaporativo desecante tanto la salida de aire humidificado y de suministro de aire servir como refrigerantes. El aire de suministro que llegue directamente a la sala a través del proceso de recuperación de calor. La adsorción física del agua de gel de sílice o cloruro de litio sirve del aire de secado en este proceso. Después, el aire se enfría por evaporación directa de humidificación de las legumbres secas y por medio de un intercambiador de calor refrigerado por aire antes. La entrada de calor térmico es necesaria para la regeneración del sorbente.

El principio fundamental de esta tecnología es la des humidificación y la evaporación del refrigerante. Por esta razón me gustaría hablar de este fenómeno me refiero al proceso de des humidificación. Puede ser una de las frases que podríamos hacer es ¿Por qué tenemos que quitar la humedad? En muchos casos, la humedad favorece el crecimiento de moho y el deterioro. La condensación también puede dañar otros objetos como la electrónica y pueden acelerar la descomposición de los productos químicos. La necesidad de control de humedad se extiende mucho más allá de la necesidad de confort humano, siendo que el control de un factor indispensable en muchas industrias, los procesos de fabricación, almacenamiento, transporte y conservación de una amplia variedad de productos. El control de la humedad del aire se puede lograr con la supresión o adición de agua. El proceso de eliminación de vapor de agua en el aire se llama des humidificación.

Así pues después de ver de forma introductoria el proceso y la tecnología así como los métodos utilizados para la refrigeración me gustaría mencionar los desecantes más comúnmente utilizados para la deshumidificación del aire.

Los desecantes son sustancias naturales o sintéticas capaces de absorber o adsorber vapor de agua debido a la diferencia de presión de vapor de agua entre el aire circundante y la superficie de desecante. Se localizan en tanto líquidos como sólidos estados. Cada uno de los sistemas desecantes líquidos y sólidos, tiene sus propias ventajas y deficiencias. Los desecantes incluyen cloruro de litio, el trietilenglicol, geles de sílice, silicatos de aluminio, óxidos de aluminio, la solución de bromuro de litio y una solución de cloruro de litio con agua.

De todas formas hay tres tipos básicos: alúmina, gel de sílice y los tamices moleculares. A continuación podemos ver las diferentes propiedades:

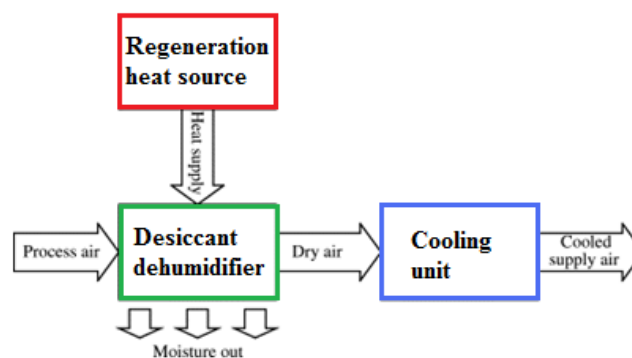
1. ***El gel de sílice*** es ligeramente ácido en la naturaleza y es resistente a todos los ácidos orgánicos, con excepción de la IC, y es atacado por materiales alcalinos. Es, por tanto, no se puede utilizar en un entorno de base. El área de gel de sílice de la superficie de alta alrededor de $800 \text{ m}^2 / \text{g}$ le permite absorber agua fácilmente, por lo que es útil como agente desecante.
2. Los ***tamices moleculares*** son alcalinos por naturaleza y son atacados por los ácidos minerales, en contraste con gel de sílice.
3. ***Alúmina activa*** es alcalino en la naturaleza y con sujeción a los ataques de ácidos minerales, así como los tamices moleculares.

Los mejores desecantes son materiales sólidos que combinan superficies muy grandes con las fuerzas de superficie sólida. Los materiales más comunes que poseen

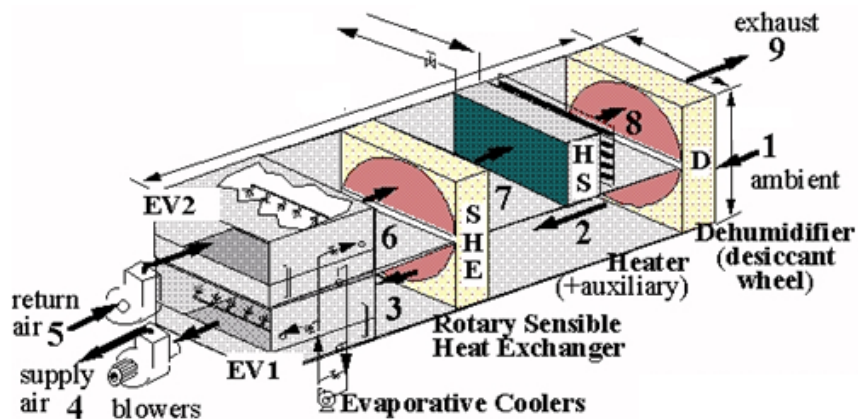
esta combinación son los geles de sílice, alúmina activada, con carbón activado y tamices moleculares. Las características físicas son:

- Químicamente inerte ➤ Larga superficie para mayor adsorción.
- Térmicamente estable. ➤ Fácilmente regenerado.
- Físicamente durable

La estructura del proceso se muestra a continuación. La estructura se compone de 3 partes principales que son la instalación solar que se está calentando el aire necesario para quitar la humedad, la segunda parte es el deshumidificador desecante dónde está la rueda desecante y la tercera parte con la unidad de enfriamiento que está suministrando el aire frío.

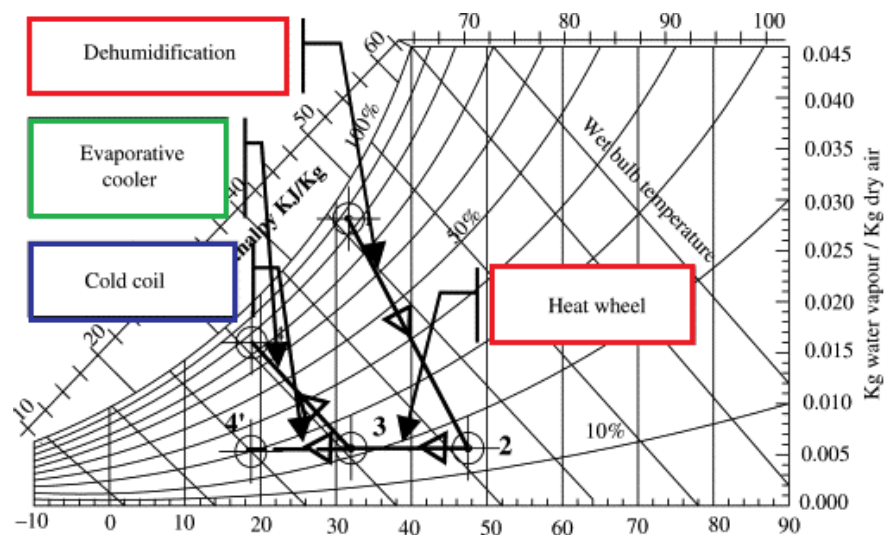


Este es el esquema principal del proceso y ahora me gustaría mostrarte un esquema también de una instalación de evaporación solar de refrigeración desecante:



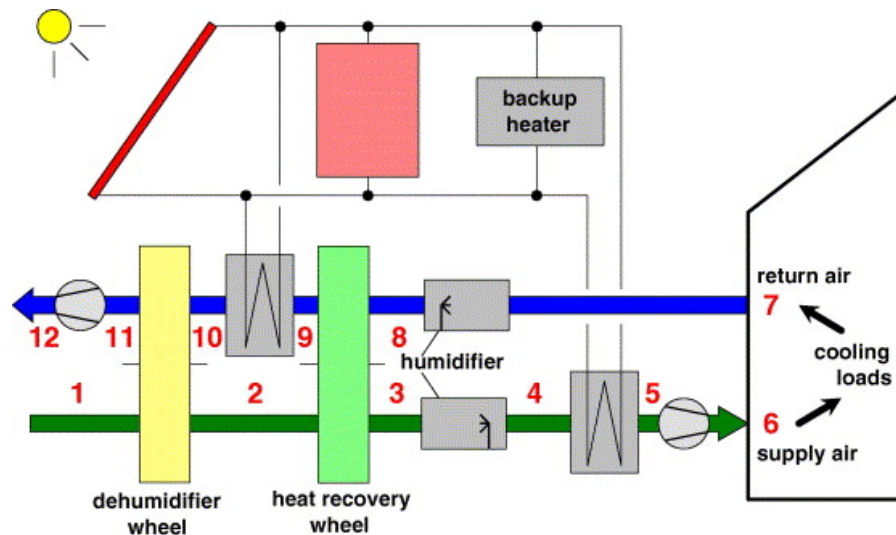
Después del esquema físico de la instalación me gustaría pasar a la ultima parte que es en la que se explica el proceso térmico así como las propiedades y características y funcionamiento de todo el proceso según la parte de la instalación en la que se encuentre el aire.

Este es el esquema de un diagrama psicrométrico en el que se describe las características del aire en cuanto a niveles de humedad y temperatura del aire. En base a este esquema y con el de la instalación se puede explicar los diferentes procesos efectuados en la instalación.



La siguiente figura muestra el desecante unidad de refrigeración de tratamiento de aire junto con la instalación solar. Esta unidad consta de una rueda desecante en tándem con una rueda térmica con refrigeradores evaporativo. Este sistema permite la refrigeración y des humidificación del aire sin utilizar refrigerantes convencionales. La rueda desecante contiene un material desecante (cloruro de litio), que tiene que ser regenerado con una fuente de calor externa. Este calor se toma de una instalación solar que consiste en un tanque de almacenamiento de la energía solar y colectores solares.

Los principales componentes de un sistema de refrigeración mediante ruedas desecantes se muestran en la siguiente figura. El aire sigue los siguientes procesos en el sistema:



1 → 2: des humidificación del aire de suministro; el proceso es casi adiabático y el aire se calienta por el calor de adsorción y la matriz caliente de la rueda viene del lado de la regeneración.

2 → 3: pre enfriamiento del suministro de aire en contracorriente a la recuperación de aire del edificio.

3 → 4: El enfriamiento por evaporación del suministro de aire a la humedad deseada de suministro de aire a través de un humidificador.

4 → 5: La bobina de calentamiento se utiliza sólo en la temporada de calefacción para el pre-calentamiento de aire.

5→6: Un pequeño aumento de temperatura es causada por el ventilador.

6 → 7: La temperatura de la fuente de aire y la humedad se incrementan por medio de las cargas internas.

7 → 8 de retorno de aire del edificio se enfría mediante enfriamiento por evaporación cerca de la línea de saturación.

8 → 9: El aire de retorno se precalienta en la lucha contra el flujo hacia el suministro de aire a través de un intercambiador de alta eficiencia de calor aire-aire, por ejemplo, una rueda de recuperación de calor.

9 → 10: La regeneración es el calor proporcionado por ejemplo por medio de un sistema de colectores térmicos solares.

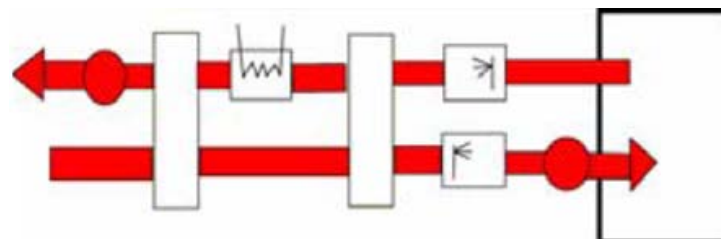
10 → 11: El agua ligada en los poros del material de la rueda desecante deshumidificador es de sorbida por medio del aire caliente.

11 → 12: salida de aire se sopla para el medio ambiente por medio del ventilador de aire de retorno.

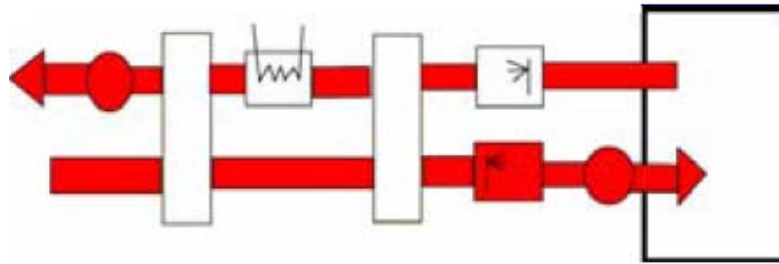
Así pues este es el recorrido que realiza el aire dentro de la instalación y que a través de sus propiedades en cada una de las partes del circuito nos permite conocer un poco mejor el comportamiento y como opera el proceso.

Por último y para finalizar este resumen me gustaría exponer los diferentes modos de operación que tienen este tipo de sistemas y que dependen de las condiciones del aire exterior y en la creación de cargas, la instalación de aire tiene cuatro modos de operación:

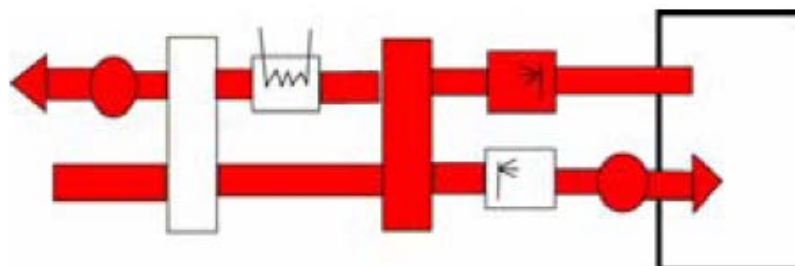
- **Modo de Ventilación** en este caso el ventilador está suministrando el aire a la habitación (4-5). De manera que las propiedades del aire no están cambiando porque el aire sólo se suministra con un ventilador.



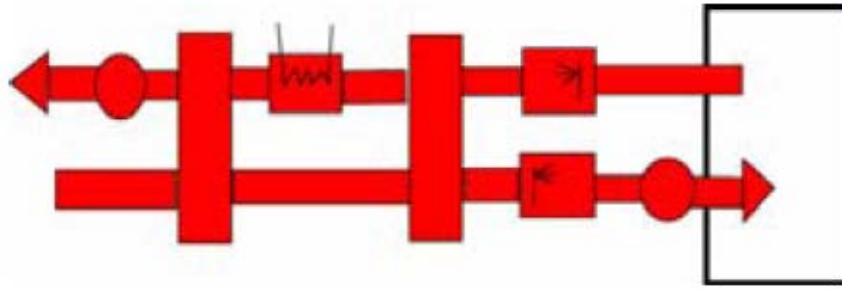
- **Modo de humidificación directa** en la que el suministro de aire está directamente humidificado (3-4). En este caso, el aire se toma desde el punto uno a continuación, el aire cambia la cantidad de humedad. Después de este punto, el aire entra en el punto 4, que es un fan cuya misión es suministrar el aire a la habitación. Podemos decir que este modo la temperatura del aire que está entrando en la sala tiene menos temperatura que el modo de ventilación.



- **Modo de humidificación indirecta**, cuando el suministro de aire es refrigerado a través de un intercambiador de calor giratorio (2-3). En el otro lado del intercambiador, el aire de retorno es enfriado por humidificación (6-7). La razón del uso del intercambiador de calor de rotación se debe a que la temperatura de la habitación es mayor que en el caso de modo directo y por esta razón también necesita una temperatura más baja que el otro modo de luchar de nuevo la temperatura más alta de la sala. También es necesario usar el humidificador (6-7), por la necesidad de bajar algunas de humedad y enfriar la temperatura del aire que se toma de la sala ya que la temperatura en la entrada (6) es mayor que en el modo directo y es necesario, utilizar el humidificador.



- **El modo de adsorción:** Durante la absorción del vapor de agua en la rueda, el aire se deshumidifica casi adiabáticamente (1-2). Después de que la temperatura se baja en el intercambiador de calor giratorio (2-3), y en el humidificador directa (3-4). El retorno de aire se enfría en un enfriador evaporativo (6-7) y se utiliza para enfriar el aire de proceso en el intercambiador de calor (7-8). A continuación, se calienta de la instalación solar (8-9) para regenerar la rueda desecante (9-10).



Este es un resumen en el que se explica lo más importante que se ha tratado en este proyecto. Para profundizar más en este tema se puede acceder al proyecto realizado en ingles en el que encontraran el resto de la información.